

【ノート】

【令和元年度 先端技術等調査研究事業(FS)】

## 流体解析技術高度化のための調査

吉川 穰, 久田 哲弥\*<sup>1</sup>, 伊藤 利憲\*<sup>2</sup>自動車産業支援部, \*<sup>1</sup>現 新産業振興課, \*<sup>2</sup>企画・事業推進部

過去に対応不可能であった流体解析に関する技術相談に対応可能とすることを目的として、導入費及び保守費が不要な流体解析用のフリーソフトについて調査を行った。実現可能性のあるフリーソフトを2つ選定して調査したところ、現状では対応できない問題にもソルバーを開発することで利用できる可能性があることを確認した。県内企業への支援に利用する上では、比較的長いスパンをかけた開発が可能な技術改善支援事業や共同研究での使用が適していると考えられる。

キーワード: フリーソフト, 数値計算, シミュレーション, 流体

### 1 緒言

流体解析に関する技術相談はこれまで多く寄せられてきたものの、既存のソフトでは機能が足りず、下記のような支援依頼に対応できなかった。

- ・ファンのような回転体周りの流体シミュレーション
- ・ノズルから噴射される液体のシミュレーション
- ・並列計算を要する大規模なシミュレーション

既存のソフトの機能拡張や新規商用ソフトは導入費、保守費ともに高額で、最新機能を維持できずに陳腐化する可能性が高い。そこで、多種多様な企業ニーズに対応できる流体解析の支援体制を整えるための可能性調査を目的として、高額な導入費や保守費が不要なフリーソフトの情報収集を行った。

### 2 流体解析用のフリーソフト

まず初めに 2019 年時点で存在する流体解析用のフリーソフトを調べ、その中から緒言で取り上げた3つのシミュレーションの実現可能性を鑑みて、調査対象として深く掘り下げるフリーソフトを選定することとした。インターネット経由で得られた情報のうち、代表的なものを以下に列挙する。

- ・Code\_Satune  
フランスの電力会社によって公開されている有限体積法ソルバー。
- ・DualSPHysics  
欧米の複数の大学によって公開されている SPH 法ソルバー。
- ・FrontFlow/blue

革新的シミュレーション研究センターによって公開されている有限要素法ソルバー。

- ・OpenFOAM®  
ESI 社や OpenFOAM 財団によって公開されている有限体積法ソルバー。

(OpenFOAM は OpenCFD 社の登録商標である。以下®は省略。)

- ・Palabos  
ジュネーブ大学によって公開されている格子ボルツマン法ソルバー。

- ・Reef3D  
ノルウェー科学技術大学によって公開されている有限差分法ソルバー。

本調査では上記のソフトのうち、学術機関・産業分野において最も広く利用されている OpenFOAM と、多相の流体解析を得意とする粒子法の1種である SPH 法を採用している DualSPHysics の2つを取り上げて、それらの企業支援への利用可能性について探ることとした。

### 3 ソフトの導入と県内企業支援への利用可能性

#### 3.1 OpenFOAM

OpenFOAM は元々イギリスのインペリアルカレッジに所属する研究室のハウスコードとして開発され、現在では世界中に広まった数値流体力学のツールボックスである。<sup>1)</sup>産業分野においても、商用ソフトと比べて遜色のない大規模計算への適用可能性が示されている。<sup>2)</sup> OpenFOAM は流体解析用の多くの商用ソフトで用いられている有限体積法を採用しており、単純な熱流体解

析だけでなく混相や燃焼，電磁場，金融に至るまで様々なシミュレーションのための標準ソルバーが用意されている。日本を含め世界中で既に多くの利用者がいるという背景から，日本語で書かれた解説書が複数出版されている上，複数の企業によって初心者用から開発者用のセミナーが開催されている。また他のフリーの流体解析ソフトと比べて，OpenFOAM には導入に際した環境構築やその後の利用の負担軽減のための様々なソフトが開発されていることも大きな特徴である。岐阜工業高等専門学校と(株)デンソーによって共同で開発された DEXCS for OpenFOAM(以下 DEXCS と記載)という OS をダウンロードすることで，フリーの CAD ソフト(FreeCAD)や可視化ソフト(ParaView)を同時に導入することができる。既存の PC にダウンロードする際には，その PC 上に仮想化ソフトウェアをインストールすることで，DEXCS を仮想 OS としてインストールできるため，既存の設備においても容易に利用環境を構築することができる。さらに DEXCS には，DEXCS ランチャーや TreeFOAM といったボタン操作での条件設定が可能な GUI ツールも用意されており，仮想風洞試験シミュレータやチュートリアルに類する解析であれば，環境構築からメッシュの生成，解析の条件変更と実行，結果の可視化まで，基本的に GUI ベースでの操作が可能である。図 1 に DEXCS 環境において，TreeFOAM から ParaView を起動して描画したメッシュの一部を示す。図 1 の操作は全てマウスのみで行うことができる。

OpenFOAM を用いた流体解析では，標準で備わっている複数のソルバーの中から，対象とする問題で扱うべき現象を解くことができるソルバーを選んで利用することができる。また標準ソルバーを用いて具体的な問題に適用したチュートリアルケースが数多く用意されているため，解きたい問題に近いチュートリアルケースを探し，内容を修正してその問題に近づけていくのが早い利用法であると考えられる。図 2 に propeller というチュートリアルケースの実行結果を示す。このチュートリアルでは，複数のメッシュの相対位置が変化するスライディングメッシュ機能を用いてプロペラ周りの流れを解析しており，図 2 ではプロペラの下流に形成される流れが可視化されている。また OpenFOAM での流体解析は複数コアでの CPU 並列計算に対応しており，上述の解析もマルチコアでの計算結果である。

上記のようにチュートリアルケースの内容を変更することで流体解析を行う一方で，標準ソルバーの組み合わせや新たな計算モデルを導入する場合には相応の自助努力を要する。ただし費用は発生するものの，サポ

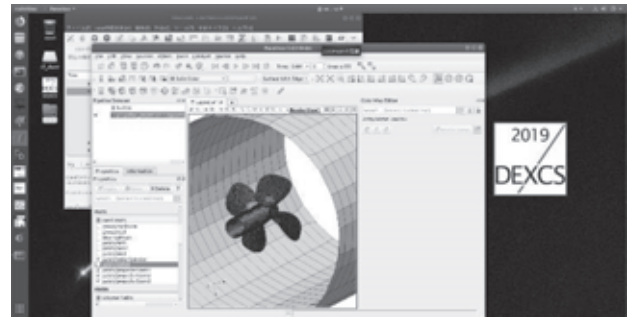


図 1 TreeFOAM を用いた ParaView の起動とメッシュの描画

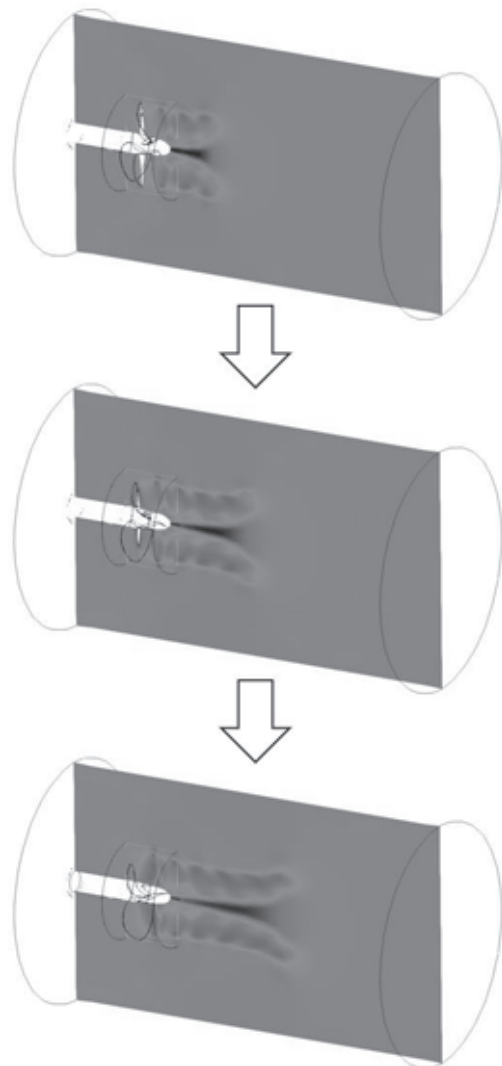


図 2 OpenFOAM を用いたプロペラ周りの流れの解析

ートを提供している企業もあるため，継続的な運用を行う場合には商用ソフトを購入して保守を行うのに比べて費用を抑えながら，個々の問題に対する開発のハードルを下げるができる。

### 3.2 DualSPHysics

DualSPHysics は、欧米の学術機関の研究者によって開発されている SPH 法をベースとした流体解析ソフトである。3.1 で取り上げた OpenFOAM を含め、一般的な流体解析ソフトが採用しているメッシュベースの解法とは異なり、SPH 法は流体中の多数の粒子の動きを追跡することで流体全体の動きを解析する。求める物理量はカーネル関数と呼ばれる関数によって空間的な分布をもち、その微分を用いて方程式の離散化を行う。<sup>3)</sup>

SPH 法はメッシュベースの解法に比べて、気液界面を扱いやすいのが特徴である。メッシュベースの解法では界面を取り扱うためのモデルの導入が不可欠であるが、SPH 法では自由空間ないし気体粒子と接する液体粒子自体が界面を形成するため、界面の取り扱いが比較的容易になる。ノズルから噴射される液体のシミュレーションでは、SPH 法が持つこの特徴に優位性があると考え、その利用可能性を調べた。

DualSPHysics は公式のウェブサイトからダウンロードするだけで使用することができ、OpenFOAM と同様に多数の計算例が用意されている。2019 年に最新でダウンロードできる v4.4 では流入流出の境界条件を扱うことができるようになり、それを用いた ShapesInlet3D という計算例が示されている。図 3 にその実行結果を示す。3 つの流入境界から流れ出た液体が、それぞれ床面に衝突して下流へと流れる様子が再現されている。DualSPHysics の計算例では、計算実行のための bat ファイルが CPU 計算用と GPU 計算用にそれぞれ準備されており、それらを実行するだけで計算が進んで結果ファイルが出力される。そのファイルは OpenFOAM と同様に ParaView での読み込みが可能であり、結果の可視化までフリーソフトで行うことができる。

DualSPHysics の使用環境は、OpenFOAM のように GUI ベースのものは用意されていないため、テキストベースで条件変更を行う必要がある。それぞれの計算例には計算条件が書かれた xml ファイルがあるため、目的の問題に近い計算例を選んで条件を書き直すという作業が簡便な利用方法となる。しかし OpenFOAM と同様に、計算例の条件変更だけでは対応できない計算を行う場合には開発が伴う。例えば上で示した計算例では、液体の運動のみを解くものとなっており、それと接する気体については直接的に取り扱われていない。気液二相の流体の運動を両者とも解くためには、xml ファイルに書かれた計算条件を変更するだけでは不十分で、少なからず開発を要する。

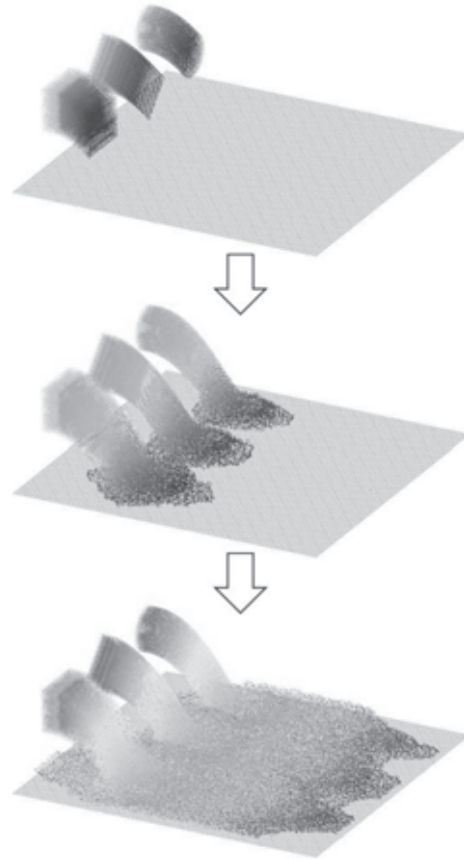


図 3 DualSPHysics を用いたノズルから流出する液体の解析

### 3.3 県内企業支援への利用方法の提案

最後に 3.1, 3.2 で取り上げたフリーソフトを、県内企業への支援に利用する方法について考える。フリーソフトで行う流体解析は、ダウンロードした時点で備わっているチュートリアルケースや計算例を元に解きたい問題に近づけていく、という方法が最初に着手する利用方法となると考えられるが、そのような方法で行うことができる解析には限りがあり、現時点で運用している商用ソフトの方がより簡単に利用できる場合がほとんどである。一方で、現在保有している商用ソフトでは解析不可能な案件やフリーソフトに存在する計算例では足りないものでも、上述のフリーソフトはオープンソースとなっているため、時間をかけることができればソルバー開発の可能性はある。したがって、短いスパンで様々な案件に対応が必要となる機器・施設開放事業や 1 ヶ月程度の改善支援事業には不向きであるものの、1 年程度の継続的な改善支援事業や複数年にわたる共同研究であれば、個々の企業ニーズに特化した解析技術を実験結果と合

わせながら構築していき、最終的な技術移転を目指した利用が可能であると考えられる。

#### 4 結言

これまで対応不可能であった回転体周りの流体シミュレーション、ノズルから流出する液体のシミュレーション、並列計算を要する大規模シミュレーションに関連した技術相談への対応を課題として、導入費及び保守費が不要な流体解析用のフリーソフトについて調査を行った。

まず、現在利用可能なフリーソフトを列挙した上で、目的に合致するソフトを2つ選定した。選定した2つのソフトには両者ともに多くの計算例が揃っており、課題とした題材のシミュレーションを並列計算で行うことが可能であった。県内企業への支援に利用する方法としては二つの方法が考えられ、一つ目は用意された計算例から少しずつパラメータを変更していきながら目的とする問題へと近づける方法である。しかしこの方法で解析可能な案件は、当センターで現在保有している商用ソフトを利用した方が簡単に実行でき時間も短く済むため、フリーソフトの利用には適さない。二つ目は、より複雑な処理やモデルが必要なシミュレーションに対して、本調査で扱ったフリーソフトが持つソースコードが公開されているという特徴を生かして、目的の問題へ向けた開発を行うという方法である。このためには、計算対象に必要なモデルについて実験との整合性を取りながら進める必要があるために時間を要するが、これまでに対応不可能であった案件への対応可能性を見出すことができる。したがって、県内企業への支援に利用する上では、個々の案件に対して多くの時間を費やすことができる1年程度の改善支援事業や共同研究が適当であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 一般社団法人 オープン CAE 学会編. OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析. 森北出版, 2016, p. 227
- 2) ファム バン フック. オープンソースを用いた数値流体解析. ながれ, 2012, 31, p. 277-284.
- 3) 後藤 仁志. 粒子法 連続体・混相流・粒状体のための計算科学. 森北出版, 2018, p. 289